

REÁLNÁ MOLEKULÁRNÍ VIZUALIZACE V HODINÁCH FYZIKY A CHEMIE NA ZÁKLADNÍCH A STŘEDNÍCH ŠKOLÁCH

ONDŘEJ KOŠEK^a, JAROSLAV VYSKOČIL^b
a BOŘIVOJ JODAS^c

^a Střední odborná škola a Gymnázium, Na Bojišti 15, 460 10 Liberec, ^b Základní škola s rozšířenou výukou jazyků, Husova 142/44, 460 01 Liberec, ^c Technická univerzita v Liberci, Fakulta přírodovědně-humanitní a pedagogická, katedra chemie, 460 01 Liberec
vyskocil@zskola.cz, jarda.vyskocil@seznam.cz

Došlo 28.6.13, přijato 7.10.13.

Klíčová slova: molekulární vizualizace, molekulové stavebnice, stavba hmoty, organické sloučeniny

Obsah

1. Úvod do problematiky
2. Význam molekulových stavebnic
3. Práce s molekulovými stavebnicemi na základní škole
 - 3.1. Struktura hmoty
 - 3.2. Změny skupenství
 - 3.3. Neutralizace a jiné reakce
 - 3.4. Vlastnosti uhlíku
4. Práce s molekulovými stavebnicemi na střední škole
 - 4.1. Obecná chemie – Tvary molekul a hybridizace
 - 4.2. Organická chemie – Isomerie
5. Práce se stavebnicemi Geomag a jejich využití v molekulární vizualizaci
6. Komplikace při práci s molekulovými stavebnicemi
7. Zhodnocení a shrnutí

1. Úvod do problematiky

Výuka fyziky a chemie na základní škole by měla žákům poskytnout elementární představy o těchto vědeckých disciplínách, vzbudit zájem o studium přírodních věd a seznámit žáky s exaktními metodami poznávání. Zcela neoddelitelnou součástí je i zkoumání struktury látek. Kapitoly o struktuře hmoty jsou často vykládány hned na začátku výuky fyziky v 6. ročníku. Později navazuje chemie (často v 8. ročníku) a tam je již zaměření na atomární a molekulární stavbu větší a tedy i detailnější.

Je podstatné tyto těžko představitelné pojmy a jevy žákům zviditelnit. Molekulární vizualizace je velmi dob-

rým pomocníkem. Dnes se tyto dvě slova používají velmi často a je tím ve většině případů myšleno zobrazení molekul pomocí vizualizačních softwarů (např.: ACD/ChemSketch a ACD/3D Viewer, CrystalMaker, Jmol, ...). Tento způsob tvorby molekulárních modelů je časově nenáročný a firmy často poskytují volně demo verze těchto programů. Problémem je malá prostorová představivost žáků/studentů. Z tohoto důvodu je pro žáky velice náročné převádět dvourozměrný obraz do podoby 3D modelů a orientovat se v uspořádání atomů v molekulách. Proto je mnohem důležitější, aby se žák/student seznámil s prostorovým uspořádáním praktickou formou a mohl jednotlivé struktury vnímat více smysly. V této souvislosti máme velmi dobré zkušenosti se stavebnicemi Geomag a s molekulovými stavebnicemi.

2. Význam molekulových stavebnic

Stavebnice využíváme při výuce již od 6. ročníku, kde se žáci v rámci fyziky poprvé setkávají s molekulami. Uvědomí si, že molekuly se skládají z různých atomů, že mají nejružnější tvary i symetrie. Mají možnost si tyto útvary složit, prohlédnout, sáhnout si na ně, nahlédnout do jejich struktury ze všech možných úhlů pohledu. Jimi vytvořená molekula neodpovídá přesně reálné struktuře, ale dokáže jim pomoci lépe se orientovat v prostorovém uspořádání molekuly. Správně se zorientovat v dvourozměrném obraze znázorňující prostorové uspořádání atomů v molekule je pro žáky pracující s vizualizací molekul ve virtuálním prostředí velice náročné. Na výše uvedené základy položené právě na počátku práce s molekulami se velmi dobře navazuje ve vyšších ročnících. Zde jsou již struktury složitější a modely jsou doplněny o názvy prvků, typy chemických vazeb a je kladen větší důraz na velikosti atomů a postavení chemických vazeb. Modelování molekul pomocí nejružnějších stavebnic je důležitým prvkem v rozvíjení prostorové orientace žáků. Zmíněný počítačový software je velmi dobrým doplňkem a následovníkem reálných modelů a stavebnic. „První ruce a potom software.“

V současnosti je stále populárnější mezi žáky i studenty výpočetní technika, která jim usnadňuje poznávání světa kolem nich a učení jako celek. Tento způsob získávání informací je velkou výhodou dnešní doby, ale bývá často přeceňován. Molekulární vizualizace je jedním z příkladů, kde je síla informačních a komunikačních technologií nadhodnocena. Je pravdou, že motivační prvek “3D digitální vizualizace” je veliký, ale jak se nám v praxi potvrdilo, porozumění struktuře látek, která je žákům předkládána právě prostřednictvím “3D digitální vizualizace”, je špatné. Mnoho výzkumů v dnešní době dokázalo, že výše uvedené úzce souvisí se špatnou prostorovou představivostí žáků a studentů. Z tohoto důvodu jsme zařadili do výuky znovu práci s molekulovými stavebnicemi, které rozvíjí jejich prostorovou představivost, ale také manuální zručnost.

Molekulové stavebnice jsou výborným začátkem pro práci s molekulární vizualizací. Umožňují žákům zcela

ojedinělé pohledy na strukturu látek, maximálně rozvíjejí prostorovou představivost, utvářejí dobré představy o prostorovém rozložení atomů v molekulách.

3. Práce s molekulovými stavebnicemi na základní škole

Reálnou molekulární vizualizaci je vhodné využívat již na počátku fyzikálního vzdělávání na základních školách. Úvodní kapitoly fyziky se často zaměřují na stavbu látek a jejich částicové složení, kde je možné molekulární vizualizaci využít. Tím ale vše pouze začíná. Molekulové stavebnice lze využít v následujících ročnících v rámci fyziky, či chemie více, než by se na první pohled zdálo. V následujících odstavcích uvádíme konkrétní příklady využití molekulových stavebnic.

3.1. Struktura hmoty

Počátky práce se stavebnicemi (zvláště na základní škole) může vést zprvu k problémům. Žáci často nejsou s těmito věcmi zvyklí pracovat a je nutné v úvodu mnoho věci vysvětlit (jak se stavebnicí manipulovat, jaký je princip sestavování molekul, co který díl znamená). Je dobré též ukázat nějakou předem sestavenou molekulu. Velmi vhodné je také sestavování molekul využít v rámci pracovních činností, které jsou dnes na mnohých školách součástí školních vzdělávacích programů. V rámci těchto hodin se zvyšuje možnost individuálního přístupu k žákům.

Práci s molekulovými stavebnicemi je dobré rozdělit do více hodin, či jejich částí. První setkání se stavebnicemi by mělo být informativní. Žák by měl mít možnost se se stavebnicí seznámit, a proto při prvním kontaktu by mu měl být dán dostatečný časový prostor na „ohmatání“ jednotlivých částí a vyzkoušení principu sestavování.

Dalším krokem v práci je sestavování molekulových modelů podle návodu. Předlohou jsou pro žáky vytištěné struktury molekul a podle nich mají postavit 3D modely. Významným prvkem, který ovlivňuje prostorová představivost, je zde převod 2D kresby na papíře, vytvořené ve vizualizačním programu, do podoby 3D modelu. Zde je prostor pro úžasné učení se prostorové orientaci, zručnosti, porovnávání a také nutnosti držení se návodu (konkrétního výstupu). Příklad z pracovních listů pro tvorbu molekul v 6. ročníku můžete vidět v příloze 1, viz první úroveň obtížnosti.

Výsledky samostatné práce žáků určitě nenecháváme ihned rozložit. Součástí práce je i prezentace vyrobených modelů před ostatními žáky, jejich okomentování a vyjádření úspěchů a obtíží při práci. Vždy ještě necháváme žáky sestavit libovolnou molekulu a tu pak prezentovat. Zajímavostí je, že často vznikají tvary podobné fullerénům.

3.2. Změny skupenství

Kapitola, která je zařazena do učiva fyziky i chemie, může být využitelná opět pro práci s molekulovými sta-

vebnicemi. A to i přesto, že uvedené změny nejsou označovány jako chemické (nedochází ke změně podstaty látky). Stačí v nejjednodušším případě připravit několik molekul vody a změnou vzdáleností (možno zmínit i prostorové uspořádání) jednotlivých molekul je možné demonstrovat příslušné skupenské stavy – pára, voda, led.

V ideálním případě necháme žáky ve dvojicích sestavit několik molekul vody a jejich úkolem je uspořádat na lavici molekuly tak, aby odpovídaly plynnému, kapalnému nebo pevnému skupenství. Toto je vhodné např. doplnit počítačovou vizualizací daných skupenství promítnutých dataprojektorem. Žáci poté mohou ostatním okomentovat počítačové modely podle svých výsledků práce.

3.3. Neutralizace a jiné reakce

Pro žáky základních škol jsou chemické rovnice často zdrojem problémů. Jejich správné vyčíslení (a často i jeho faktická podstata) skrývá ještě další těžko prostupitelnou slupku. Molekulární vizualizace pomocí stavebnic nám může být nápomocna. Uvádíme příklad na neutralizaci, ale postup je vhodný i pro jiné chemické reakce. Je možné ho využít v jednodušších partiích (např. reakce oxidů za vzniku kyselin, či zásad), či při komplikovanějších reakcích (např. esterifikace).

Nejprve si žáci napíší uvedenou reakci do sešitů a podle reaktantů namodelují pomocí molekulové stavebnice dané chemické látky. Jejich úkolem bude provést správnou reakci pomocí dostupných reaktantů. Často zjistí, že počet reaktantů je nedostačující. Musí tedy některé vyrobit ve větším množství tak, aby bylo možné dát vznik produktům neutralizace. Tím nepřímou vyčíslení reakční schéma a do sešitů si pak již poznamenají úplnou chemickou rovnici.

Tento postup je jistým mezikrokem, který vede k snadnějšímu pochopení problematiky chemických rovnic. Žák vidí počty reagujících a vznikajících sloučenin přímo a bezprostředně je mu jasný smysl stechiometrických koeficientů. Poté je již představa při tvorbě a vyčíslování chemických rovnic jasnější.

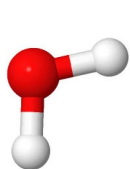
3.4. Vlastnosti uhlíku

S molekulovými stavebnicemi je vhodné demonstrovat vlastnosti uhlíku v organických sloučeninách. Fakt, že uhlík je v organických sloučeninách čtyřvazný žáci většinou přijmou bez větších obtíží. Ovšem jejich představa je taková, že vazby, které vedou z uhlíku, jsou v jedné rovině (tak, jak je to nakresleno na tabuli, či v učebnicích). Manipulace s prostorovým modelem uhlíku žákům usnadní vytvořit si tyto představy správně. Zároveň je vhodné demonstrovat prostorové uspořádání základních alkanů. V učebnicích jsou vzorce zapsány v rovině a často jako lineární molekuly. Pokud si žák sám sestaví některý jednoduchý alkan, ihned může vidět, že strukturní vzorce jsou pouze formálním zápisem. Model reálné molekuly vypadá odlišně.

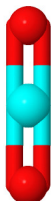
Postavte pomocí molekulové stavebnice uvedené modely molekul. Dávejte pozor na to, jaké druhy atomů použijete! Prostorový vzhled modelu musí odpovídat obrázku, jinak by se jednalo o jinou molekulu!

Barvy atomů: červená – kyslík bílá – vodík světle modrá – uhlík
žlutá – síra tmavě modrá – dusík

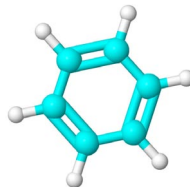
První úroveň obtížnosti



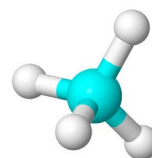
VODA



OXID UHLIČITÝ

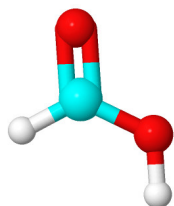


BENZEN

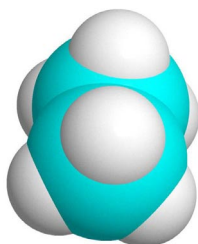


METHAN

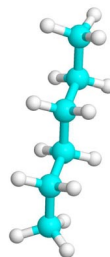
Druhá úroveň obtížnosti



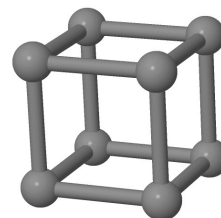
KYSELINA MRAVENČÍ
(kyselina methanová)



ETHAN

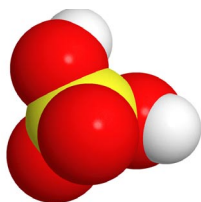


***n*-HEXAN**

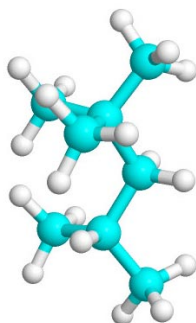


KRYSTAL ŽELEZA

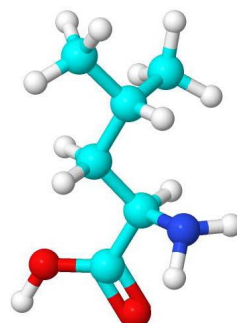
Třetí úroveň obtížnosti



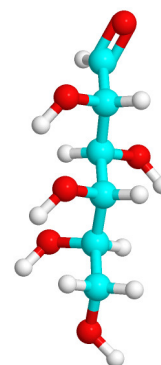
KYSELINA SÍROVÁ



„ISOOKTAN“
(2,2,4-trimethylpentan)



LEUCIN (aminokyselina)



D-GLUKOSA

4. Práce s molekulovými stavebnicemi na střední škole

Stejně tak jako na základních školách je molekulární vizualizace vhodným doplňkem výuky, který umožňuje studentům lépe chápat zákonitosti stavby hmoty a uspořádání atomů v molekulách. Z naší praxe jsme vybrali následující dvě kapitoly gymnaziálního učiva, se kterými mají žáci často problémy. Tyto kapitoly přímo vybízejí k použití molekulární vizualizace. V naší praxi se osvědčilo použití právě molekulových stavebnic, které spojují porozumění danému problému s praktickou činností a s tím spojené vnímání více smysly.

4.1. Obecná chemie – Tvary molekul a hybridizace

Tvar molekuly výrazně ovlivňuje vlastnosti dané látky a její reaktivitu. Z tohoto důvodu je velice důležité, aby studenti dokázali uspořádat atomy v molekule a určit její tvar. Běžný postup je vytvoření strukturního vzorce a následný zápis elektronové konfigurace centrálního atomu. V případě nutnosti ještě převést centrální atom do excitovaného stavu a následně určit jeho hybridizaci. Na základě příslušné hybridizace student určí tvar molekuly.

Nový postup v určení tvaru molekuly spočívá ve vložení molekulové vizualizace do normálního postupu a to buď za vytvoření strukturního vzorce, nebo jako doplněk posledního kroku.

Žák si tímto způsobem lépe uspořádá systém prostorové konfigurace atomů v molekulách a snáz si představí tvary přiřazené k jednotlivým hybridizacím.

4.2. Organická chemie – Isomerie

Isomerie jsou vstupním učivem a tvoří základ pro pochopení struktur v organické chemii. Pro naši potřebu jsme si zvolili isomerie konstituční, na kterých budeme vysvětlovat vhodnost použití molekulární vizualizace a to především v podobě molekulových stavebnic.

V organické chemii rozlišujeme hned čtyři typy konstitučních isomerií – řetězcovou, polohovou, skupinovou a tautomerii. Pro žáky je velice obtížné připustit fakt, že jednomu molekulovému vzorci můžeme ve skutečnosti přiřadit větší množství struktur.

V běžné praxi napíše učitel na tabuli molekulový vzorec a žáci tvoří pomocí molekulových stavebnic jednotlivé možnosti uspořádání atomů v molekule. Na závěr cvičení mají před sebou jednotlivé molekuly v prostorové podobě a snáze pak určují typy konstitučních isomerií.

Příklady pracovních listů vztahujících se k isomerii a hybridizaci naleznete v příloze 2.

5. Práce se stavebnicemi Geomag a jejich využití v molekulární vizualizaci

Stavebnice Geomag jsou dnes na školách dosti vzácné. Důvodem je zcela jistě jejich vysoká pořizovací cena

(stavebnice se 160 dílky ≈ 1000 Kč). Jedná se však o výborný prostředek pro cvičení prostorové orientace. Velkou výhodou je také silný motivační prvek, neboť žáci s těmito sestavami pracují velmi rádi. Často je znají z domova. Stavebnice je vhodná pro stavění krystalových mřížek nejrůznějších tvarů. Obrovskou výhodou, na rozdíl od výše uvedených stavebnic, je jejich rychlá modifikace do potřebného tvaru. Na druhou stranu je tato stavebnice jen omezeně vhodná pro tvorbu trojrozměrných modelů (fullereny a jiné komplikovanější struktury).

Ve vyšších ročnících se dají dělat modely složitější, stavebnice je například vhodná pro vytváření modelů bílého fosforu (tvoří molekuly P_4), na nichž je možné demonstrovat jejich vysokou reaktivitu. Jednoduše lze také modelovat struktury diamantu a grafitu. S trochou pečlivosti lze vytvořit zajímavé struktury diamantu s nečekanou krásou a jednotlivé vrstvičky grafitu spojené Van der Waalsovými silami. Tímto způsobem lze ukázat menší pevnost ne vazebných interakcí a vysvětlit tak princip psaní tuhy. Zajímavá demonstrace je s krystalickou sírou a jejími cyklickými molekulami S_8 . Při tavení síry se cykly trhají a spojují v dlouhé řetězce.

6. Komplikace při práci s molekulovými stavebnicemi

Z našich zkušeností vyplývá, že žáci mají zpočátku se stavbou modelů jisté obtíže. Ani ne tak se složením molekul, ale právě s jeho prostorovým uspořádáním. Postaví tedy například model vody a oxidu uhličitého s téměř totožným prostorovým uspořádáním atomů. Stačí však krátké upozornění a již žáci 6. ročníků jsou schopni tyto zásady ve většině případů dodržovat. Velmi dobře si uvědomí důležitost prostorového uspořádání v molekulách. Mnozí si toto poučení nesou dále a jsou schopni si získané informace vybavit při výuce chemie v osmém ročníku.

Dalším úskalím jsou vícenásobné vazby. V molekulách, které sestavují žáci 6. ročníků, se vyskytují, nejsou však zmiňovány. Znalosti žáků obsahují pouze to, že atomy jsou spojeny tzv. chemickými vazbami a tvoří tak molekuly. Vícenásobné vazby ovšem není nutné v nižších ročnících zmiňovat. Ve vyšších ročnících a na středních školách je již vhodné do modelů vícenásobné vazby zanechat a vysvětlit podrobněji princip stavby modelů molekul. Modely molekul použité v pracovním listu jsou sice trochu abstraktní (pod pojmem benzen si žáci 6. ročníků moc nepředstaví), zde jde však o tvorbu molekulových modelů a ne chemii. I ta se však dá zmínit a diskutovat. Využití v 8., 9. a středoškolských ročnících je pak již více chemicky zaměřeno.

7. Zhodnocení a shrnutí

Několika předchozími odstavci jsme se snažili poukázat na možný kladný přínos využití molekulární vizualizace v hodinách chemie a fyziky. Jsme si vědomi, že to rozhodně není nový, ani převratný činitel ve snaze pochopit

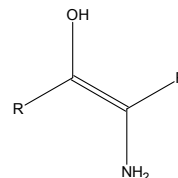
Pracovní list isomerie

1. Pomocí molekulové stavebnice urči řetězcové isomery odvozené od následujícího molekulového vzorce:

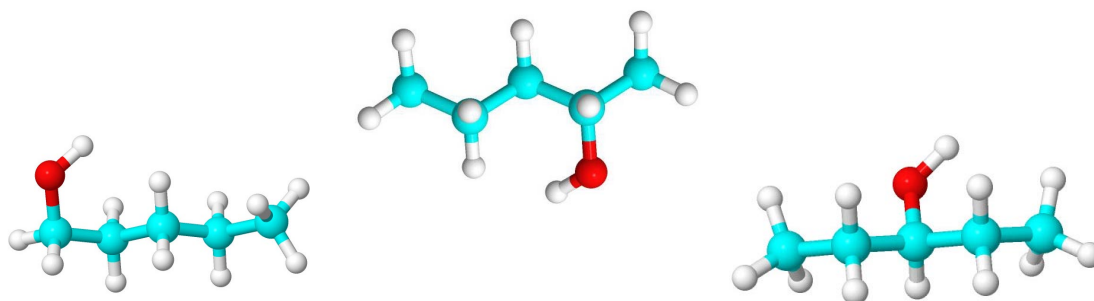
- C_4H_{10} (sestav 2)
- C_5H_{12} (sestav 3)

2. Pomocí molekulové stavebnice urči další tautomery odvozené od následujícího vzorce:

- C_2H_4O

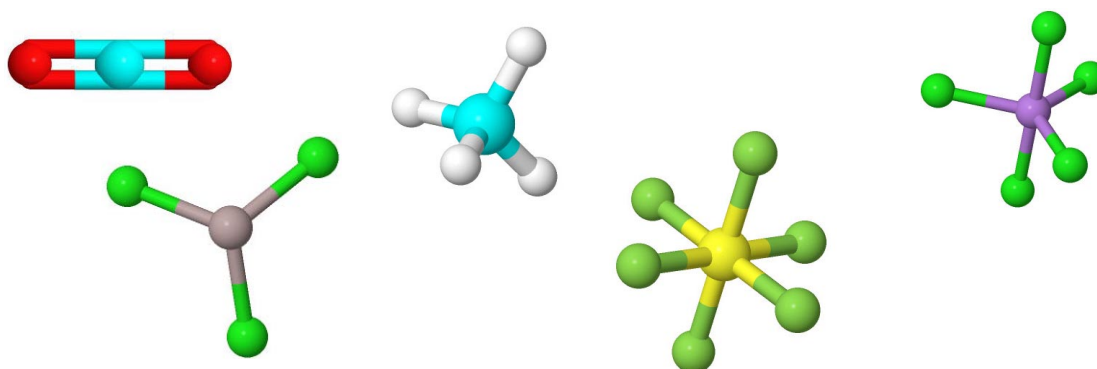


3. Rozhodni na základě sestavení modelu, o jaké isomery se jedná. Vzorce pojmenuj.



Pracovní list hybridizace

1. Uspořádej následující modely podle hybridizace (od sp po sp^3d^2) a vytvoř modely pomocí molekulové stavebnice.



2. Pomocí molekulové stavebnice urči hybridizaci následujících molekul

- BH_3
- SbF_5
- SiF_4

děje na úrovni mikrosvěta. Jsme však přesvědčeni, že molekulární stavebnice mohou velkou měrou k tomuto pochopení pomoci. A to velmi přístupnou a motivační formou. Všichni víme, jak je dnes zhuštěna výuka přírodovědných oborů, a proto ve snaze sdělit žákům vše, není čas na mnohdy triviální pokusy a měření. Jsme přesvědčeni, že čas věnovaný praktické molekulární vizualizaci se mnohonásobně navrátí jak v manuální, tak znalostní úrovni žáků a studentů.

LITERATURA

1. Bílek M.: *Vybrané aspekty vizualizace učiva přírodovědných předmětů: Obrazový materiál – možnosti a meze jeho využití ve výuce (chemie)*. Miloš Vognar – M&V, Hradec Králové 2007.
2. Hlavatý J.: *Didaktická technika pro učitele*. VŠCHT Praha, Praha 2002.
3. Molnár J., Perný J., Topenová A.: *Prostorová představitelství a prostředky k jejímu rozvoji*. JČMF, Praha 2006. class.pedf.cuni.cz/NewSUMA/FileDownload.aspx?FileID=100, staženo 13. 11. 2012.

O. Košek^a, J. Vyskočil^b, and B. Jodas^c (^a *Secondary Professional School and Grammar School*, ^b *Primary School*, ^c *Department of Chemistry, Technical University, Liberec*): **Real Visualization of Molecules in Physics and Chemistry Lessons at Primary and Secondary Schools**

The present article describes the potential use of molecular projection in chemistry and physics lessons. Beginning of the text we point to the students' Spatial imagination of students and the advantages of the real and computer molecular projection are discussed. Practical experience, ideas for work with molecular construction sets and several worksheets for students are added.